

ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI PANAS PADA PANEL SURYA MENJADI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR TERMOELEKTRIK

ANALYSIS OF HEAT ENERGY UTILIZATION ON SOLAR PANEL TO BE ELECTRICAL ENERGY USING THERMOELECTRIC GENERATOR

Erik Deardo Purba¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Reza Fauzi I., M.T³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹erik.deardo@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com, ³rezafauzii@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat dibutuhkan hingga saat ini untuk keperluan hidup sehari – hari. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari. Panel surya dapat mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung, panel surya yang terkena radiasi matahari akan menghasilkan panas pada panel surya. Pada penelitian ini panas yang terjadi pada panel surya akan dimanfaatkan dengan menggunakan 10 buah generator termoelektrik (TEG) tipe SP1848 27145 SA yang disusun secara seri – parallel dan dilekatkan pada bagian bawah dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik. Percobaan yang telah dilakukan, daya rata – rata yang dihasilkan panel surya tanpa TEG sebesar 9.319 W dengan efisiensi rata – rata 12.10 % sedangkan panel surya dengan TEG menghasilkan daya rata – rata sebesar 9.219 W dan besar efisiensi rata – rata 11.97 %. TEG dapat menghasilkan daya rata – rata sebesar 23.40 mW dengan efisiensi rata – rata 0.00876 %. Efisiensi yang dihasilkan sangat kecil, hal terjadi karena perbedaan suhu yang terjadi pada sisi panas dan sisi dingin TEG cukup kecil yaitu rata – rata 4.34 °C. hal tersebut terjadi karena pada sisi dingin TEG hanya menggunakan heatsink sebagai pembuang kalor dan aliran udara sebagai pendingin alami, sehingga pembuangan kalor oleh heatsink pada sisi dingin TEG tidak cukup baik. Pada sisi panas TEG, suhu yang terjadi disebabkan oleh radiasi matahari sehingga panas yang dihasilkan hanya bergantung pada radiasi matahari sehingga suhu pada sisi panas TEG tidak terlalu tinggi.

Kata kunci : *Radiasi Matahari, Generator Termoelektrik, Panel Surya, Efisiensi, Daya, Temperatur.*

Abstract

Electrical energy is one of the energy that is needed today for the purposes of daily life. One of the renewable energy that can be utilized is solar energy. Solar panels can convert solar radiation into electrical energy directly, solar panels that emitted by solar radiation will produce heat in solar panels. In this study the heat that occurs on solar panels will be utilized using 10 thermoelectric generators (TEG) type SP1848 27145 SA arranged in parallel - series and affixed to the bottom of the solar panel to produce electrical energy. Experiments that have been done, the average power produced by solar panel without TEG is 9,319 W with an average efficiency of 12.10% while solar panel with TEG produce an average power of 9,219 W and an average efficiency of 11.97%. TEG can produce average power of 23.40 mW with an average efficiency of 0.00876%. The efficiency produced is very small, that happen because the temperature difference that occurs on the hot side and the cold side of the TEG is quite small, which is an average of 4.34 °C. this happens because on the cold side the TEG only uses the heatsink as a heat dissipator and the air flow as a natural coolant, so the heat dissipation by the heatsink on the cold side of the TEG is not good enough. On the hot side of TEG, the temperature that occurs is caused by solar radiation so that the heat generated depends only on solar radiation so that the temperature on the hot side of the TEG is not too high.

Keywords : *Solar Radiation, Thermoelectric Generators, Solar Panel, Efficiency, Power, Temperature.*

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat dibutuhkan hingga saat ini untuk keperluan hidup sehari – hari. Aktivitas manusia dalam penggunaan energi dan seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan dalam bidang teknologi mengakibatkan kebutuhan energi listrik terus meningkat dan menjadi bagian yang sangat penting [1]. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari karena ketersediaannya yang mudah, bersih dan sumber energi yang murah [2].

Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Radiasi matahari yang diserap oleh panel surya, dapat menyebabkan panas pada panel surya, maka dari itu dibutuhkan suatu perangkat untuk memanfaatkan panas yang terjadi pada panel surya, seperti pemasangan generator termoelektrik pada panel surya yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur yang terjadi [3]. Pada penelitian yang sebelumnya, telah dilakukan pemanfaatan panas pada panel surya dengan menggunakan TEG pada skala lab dengan menggunakan lampu sebagai sumber panas dan radiasi, pada penelitian tersebut 10

buah TEG SP1848 27145SA disusun secara seri menghasilkan daya rata – rata sebesar 15 mW dengan efisiensi rata – rata 0.096%. [4]. Pada penelitian tersebut, sumber panas yang digunakan adalah lampu di mana cahaya yang dihasilkan oleh lampu berbeda dengan cahaya yang dihasilkan oleh matahari dan panel surya pada umumnya digunakan pada matahari secara langsung agar radiasi yang diserap lebih banyak dibandingkan dengan radiasi yang dihasilkan oleh lampu, dan pada penelitian tersebut 10 buah TEG disusun secara seri sehingga arus yang dihasilkan sangat kecil sehingga daya yang dihasilkan pun sangat kecil. Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan radiasi matahari secara langsung agar panel surya dapat menyerap radiasi matahari lebih baik. Panas pada panel surya akibat radiasi matahari akan dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan menggunakan 10 buah generator termoelektrik tipe SP1848 27145SA yang disusun secara seri – parallel agar daya yang dihasilkan lebih besar dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini diharapkan generator termoelektrik dapat menghasilkan listrik dengan baik dengan memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi akibat dari radiasi matahari. Maka listrik dapat dihasilkan tidak hanya oleh panel surya tetapi juga oleh generator termoelektrik.

2. Dasar Teori

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan disiplin ilmu yang mempelajari bagaimana panas dapat berpindah dari suatu benda ke benda lainnya melalui berbagai macam medium perambatan. Panas dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain akibat adanya perbedaan suhu. Dalam ilmu perpindahan panas, dikenal 3 (tiga) proses perpindahan panas dilihat dari medium perambatannya, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.1.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang tanpa disertai dengan pergerakan objek, perpindahan panas konduksi ini sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Perpindahan panas konduksi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu konduksi keadaan tunak (*steady state*) dan konduksi keadaan tak tunak (*unsteady state*). Konduksi tunak adalah proses konduksi dimana nilai panas (kalor) sama terhadap waktu, sedangkan konduksi keadaan tak tunak adalah proses konduksi yang nilai panasnya berubah terhadap waktu [5].

2.1.2 Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas). Menurut keadaan alirannya perpindahan panas konveksi dikategorikan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa, aliran fluida pada konveksi bebas disebabkan oleh adanya variasi masa jenis yang selalu diikuti dengan adanya perbedaan temperatur fluida, sedangkan aliran fluida konveksi paksa disebabkan oleh beberapa hal yang berasal dari luar misalnya menggunakan fan, pompa ataupun tiupan angin. Perpindahan panas atau pendinginan pada panel mesin merupakan konveksi paksa dimana aliran fluida berasal dari elektrik fan [6].

2.1.3 Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi merupakan proses perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain tanpa melalui medium. Dalam teori radiasi dijelaskan bahwa panas yang berpindah dari suatu benda ke benda lain dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik sehingga dalam proses perpindahannya tidak memerlukan medium sama sekali. Bahkan jika kedua benda tersebut dipisahkan oleh ruang hampa, panas akan tetap berpindah melalui pancaran gelombang elektromagnetik. Panas matahari yang sampai ke bumi merupakan salah satu contoh nyata bentuk perpindahan panas secara radiasi. Meskipun jarak antara matahari dan bumi sangat jauh serta dipisahkan oleh ruang hampa, panas matahari tetap dapat sampai ke bumi melalui pancaran [7].

2.2 Panel Surya

Panel surya merupakan alat untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya yang merupakan implementasi dari efek fotovoltaiik yaitu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung. Konversi yang terjadi pada panel surya menghasilkan daya yang bergantung pada beberapa kondisi lingkungan yang mempengaruhi panel surya. Hal yang mempengaruhinya adalah suhu, intensitas cahaya matahari, besar radiasi matahari, arah datangnya sinar matahari, dan spektrum dari cahaya matahari. Daya yang dihasilkan panel surya bersifat fluktuatif yang disebabkan oleh kondisi lingkungan yang berubah – ubah setiap waktu [8]. Efisiensi keluaran maksimum (η) dari panel surya didefinisikan sebagai prosentase daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (1)$$

Di mana :

η = Efisiensi panel surya (%)

P_{out} = Daya keluaran panel surya (W)

P_{in} = Daya masukkan panel surya (W)

Untuk mencari efisiensi panel surya dibutuhkan P_{in} yang didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2)$$

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (3)$$

Di mana :

FF = Fill Factor

V_{mpp} = Daya maksimal (V)

I_{mpp} = Arus maksimal (A)

V_{oc} = Tegangan *Open Circuit* (V)

I_{sc} = Arus *Short Circuit* (A)

P_{out} = Daya keluaran panel surya (W)

Persamaan (2.3) untuk mendapatkan FF dibutuhkan V_{mpp} , I_{mpp} , V_{oc} , dan I_{sc} yang didapatkan dari *datasheet* panel surya yang digunakan. Sedangkan pada persamaan (2.4) V_{oc} , dan I_{sc} didapatkan dari hasil keluaran panel surya yang digunakan [9].

Untuk mencari efisiensi panel surya dibutuhkan P_{in} yang didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$P_{in} = G \cdot A \quad (4)$$

Di mana :

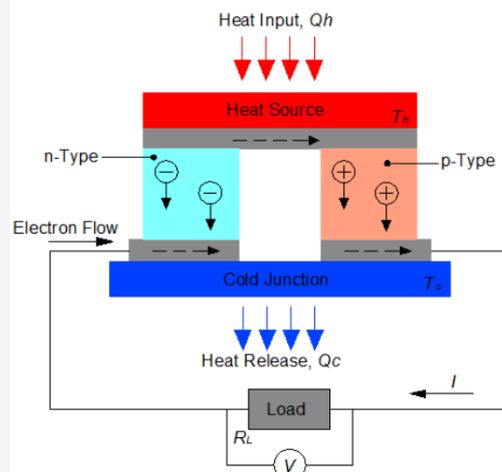
P_{in} = Daya masukan panel surya (W)

G = Radiasi matahari (W/m^2)

A = Luas permukaan panel surya (m^2)

2.3 Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik merupakan suatu alat yang dapat mengonversi secara langsung dari suatu perbedaan suhu menjadi tegangan listrik. Sebaliknya, apabila diberi tegangan listrik akan menghasilkan perbedaan temperatur. Termoelektrik terbuat dari bahan semikonduktor yang disusun sedemikian rupa dengan komponen tipe-n (material yang kelebihan elektron) dan tipe-p (material yang kekurangan elektron). Termoelektrik dapat mengonversi panas menjadi listrik berdasarkan efek seebeck.



Gambar 1. Ilustrasi Cara Kerja Generator Termoelektrik [3].

Gambar 1. Adalah prinsip kerja generator termoelektrik di mana terdiri dari satu sisi panas (T_h) dan satu sisi dingin (T_c). Pada sisi panas termoelektrik dengan suhu yang lebih tinggi, akan menggerakkan elektron pada batang dengan material semikonduktor tipe-n (material yang kelebihan elektron) menuju sisi dingin dengan suhu yang lebih rendah dan masuk ke batang dengan material tipe-p (material yang kekurangan elektron) melalui metal connection. Sehingga akan timbul arus listrik dari pergerakan elektron tersebut [10].

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} \quad (5)$$

Di mana :

α = Koefisien Seebeck (V/K)

V = Tegangan yang dihasilkan TEG (V)

ΔT = Perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas TEG (K)

Persamaan (2.1) adalah persamaan koefisien seebeck di mana α (V/K) yang menyatakan besarnya tegangan yang dapat dihasilkan oleh TEG dalam per satuan Kelvin [11].

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{R} \quad (6)$$

Di mana :

Z = Figure of Merit (1/K)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

θ = Hambatan termal (K/W)

R = Hambatan listrik (Ω)

Persamaan (2.2) adalah persamaan *Figure of Merit* yaitu ukuran seberapa besar kinerja dari termoelektrik dengan menggunakan koefisien seebeck, hambatan panas, dan hambatan listrik [12]. Hambatan panas dan hambatan listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [13] :

$$R = \frac{V(T_h - \Delta T)}{I T_h} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\Delta T}{I \cdot V} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T)} \quad (8)$$

Di mana:

R = Hambatan listrik (Ω)

θ = Hambatan termal (K/W)

I = Arus yang dihasilkan TEG (A)

V = Tegangan yang dihasilkan TEG (V)

T_h = Suhu pada sisi panas TEG (K)

ΔT = Perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas TEG (K)

Dari persamaan (2.3) dan (2.4), hambatan listrik dan hambatan termal pada TEG digunakan untuk mendapatkan *Figure of Merit* [13].

$$\eta_{max} = \frac{\Delta T}{T_h} \frac{\sqrt{1 + \frac{z}{2}(T_h + T_c)} - 1}{\sqrt{1 + \frac{z}{2}(T_h + T_c) + \frac{T_c}{T_h}}} \quad (9)$$

Di mana :

η_{max} = Efisiensi maksimum dari TEG (%)

ΔT = Perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas TEG (K)

z = *Figure of Merit* (1/K)

T_c = Suhu pada sisi dingin TEG (K)

T_h = Suhu pada sisi panas TEG (K)

Persamaan (2.4) adalah persamaan untuk mendapatkan efisiensi dari TEG. η_{max} (%) [12].

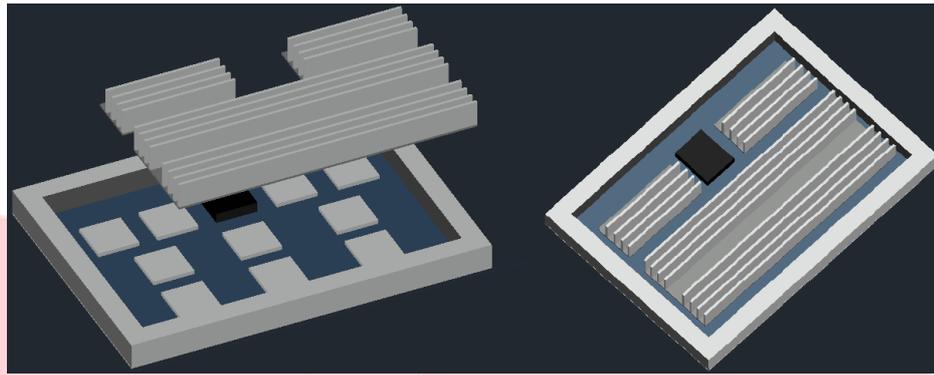
3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

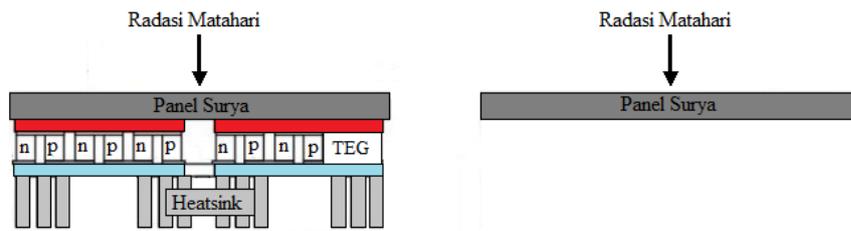
Pada penelitian ini, sistem yang akan dibuat terdiri dari beberapa komponen yaitu, panel surya sebagai penghasil tegangan. generator termoelektrik SP1848 pada sistem ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari perbedaan temperatur yang terjadi.



Gambar 2. Desain 3D Sistem



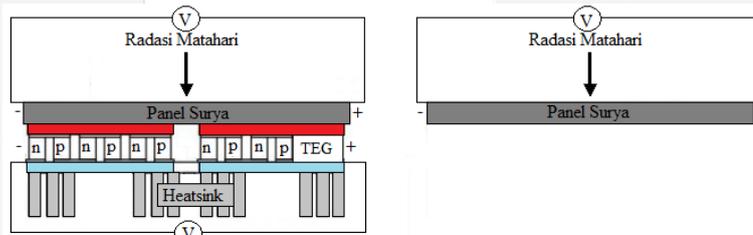
Gambar 3. Desain 3D panel surya dengan generator termoelektrik



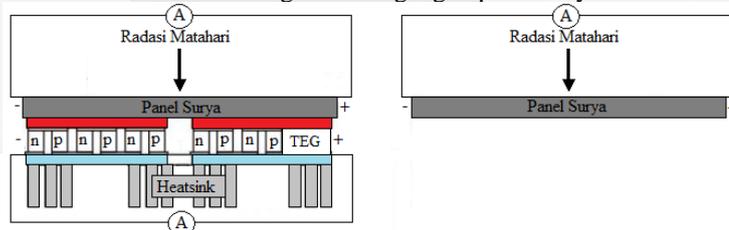
Gambar 4. Desain 2D sistem tampak samping

Gambar 2 merupakan gambar cara pengukuran sistem di mana panel surya dengan TEG dan panel surya tanpa TEG diletakkan secara berdampingan dengan dudukan panel surya setinggi 60 cm dan posisi panel surya diletakkan dengan kemiringan 15°. Pada gambar 3 TEG SP1848 27145 SA yang berjumlah 10 diletakkan pada bagian bawah panel surya dengan posisi bagian panas TEG melekat pada panel surya menggunakan *thermal paste*, hal tersebut bertujuan agar sisi panas TEG dapat menerima panas pada panel surya akibat dari radiasi matahari. Setelah itu, heatsink diletakkan pada sisi dingin dari TEG yang berfungsi untuk membuang panas sehingga sisi dingin TEG dapat terjaga. Pada gambar 3, panel surya di sebelah kiri adalah sistem panel surya dengan TEG sedangkan di sebelah kanan adalah panel surya tanpa TEG yang digunakan sebagai pembandingan.

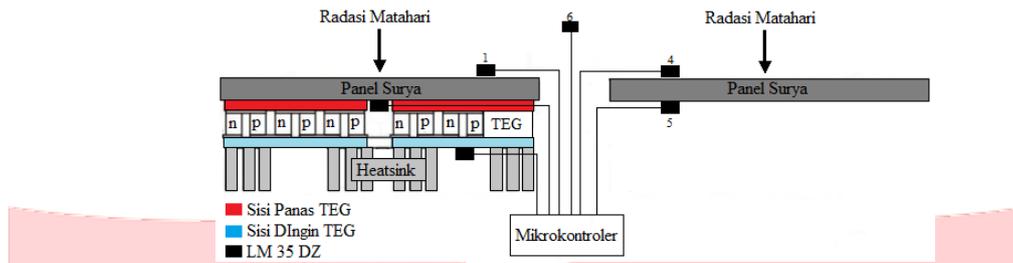
Skema pengukuran
 Pada penelitian ini, sistem yang akan dibuat terdiri dari beberapa komponen yaitu, panel surya sebagai penghasil tegangan. generator termoelektrik SP1848 pada sistem ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari perbedaan temperatur yang terjadi. Pengukuran dilakukan dengan cara sebagai berikut :



Gambar 5. Skema Pengukuran tegangan panel surya dan TEG



Gambar 6. Skema pengukuran arus panel surya dan TEG



Gambar 7. Skema pengukuran suhu pada panel surya dan TEG

Pada gambar 5 pengukuran tegangan dilakukan secara *open circuit*, sedangkan pada gambar 6 pengukuran arus dilakukan secara *short circuit* dengan tujuan mendapatkan daya maksimal. Pada gambar 7 pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan sensor LM 35DZ dengan mikrokontroler. Pada gambar 7 sensor 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 berturut – turut digunakan untuk mengukur suhu pada atas panel surya dengan TEG, bagian bawah panel surya dengan TEG (sisi panas TEG), sisi dingin TEG, bagian atas panel surya tanpa TEG, bagian bawah panel surya tanpa TEG, dan suhu lingkungan. Pengukuran radiasi matahari dilakukan menggunakan Solar Power Meter TM – 206 yang diarahkan langsung pada matahari.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, dibutuhkan beberapa alat dan bahan penelitian sebagai berikut.

Tabel 1. Alat penelitian

No	Nama	Spesifikasi	Jumlah
1	Multimeter	Fluke 87	1
2	Solar Power Meter	TM – 206	1
3	Sensor suhu	LM35 DZ	1
4	Data logger	Modul SD Card	1
4	Thermal Paste	-	2

Tabel 2. Bahan penelitian

No	Nama	Spesifikasi	Jumlah
1	Panel Surya 10 Wp	Polikristal, DEKADE PD - 10	2
2	Generator termoelektrik	SP1848 27145 SA	10
3	Heatsink	Alumunium Bersirip 8	2

4. Hasil Pengujian dan Analisis Pembahasan

4.1 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian dilakukan selama empat hari dengan rentang waktu pengujian dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 15.00. Pengujian dilakukan dengan pengukuran tegangan dan arus pada panel surya dengan TEG, panel surya tanpa TEG, dan TEG itu sendiri, pengukuran dilakukan menggunakan multimeter. TEG yang digunakan sebanyak 10 buah TEG, yang dirangkai secara seri – paralel dengan konfigurasi rangkaian 5 buah TEG dihubungkan secara paralel, lalu dihubungkan secara seri dengan 5 buah TEG lainnya. Pada panel surya dan TEG dilakukan pengukuran suhu yang diletakkan pada bagian atas panel dengan TEG dan tanpa TEG, pada sisi dingin TEG dan pada lingkungan sekitar, dengan menggunakan sensor LM35DZ yang telah terhubung dengan mikrokontroler dan akan disimpan dalam *data logger*. Pengukuran suhu bertujuan untuk melihat perubahan suhu yang terjadi pada panel surya, TEG maupun lingkungan sekitar. Panel surya dengan TEG dan tanpa TEG dilektakkan di atas dudukan setinggi 60 cm dan panel surya dimiringkan sebesar 15°. Dilakukan pengukuran radiasi matahari dengan menggunakan Solar Power Meter TM-206. Setelah dilakukan pengukuran, akan dilakukan perhitungan efisiensi pada panel surya dengan menggunakan persamaan (1) dan TEG dengan menggunakan persamaan (9). Perhitungan efisiensi TEG dilakukan pada keseluruhan rangkaian TEG.

Tabel 3. Hasil pengujian panel surya dan TEG

Hari Ke -	Hambatan Panas Rata - Rata (K/W)	Hambatan Listrik Rata - Rata (Ohm)	Figure of Merit Rata - Rata (1/K)	$\Delta T (T_h - T_c)$ TEG (°C)	Efisiensi Rata - Rata (%)	Daya Rata - Rata TEG (mW)
1	334.18	14.656	0.0536	4.16	0.00815	26.00
2	403.30	15.512	0.0612	3.99	0.00805	22.05
3	346.91	15.895	0.0513	3.85	0.00743	23.35
4	527.79	15.013	0.0827	5.35	0.01142	22.18
rata - rata	403.05	15.269	0.0622	4.34	0.00876	23.40

Tabel 4. Hasil perhitungan TEG

Hari Ke -	Daya Rata - Rata Panel tanpa TEG (W)	Efisiensi Rata - Rata Panel tanpa TEG (%)	Daya Rata - Rata Panel dengan TEG (W)	Efisiensi Rata - Rata Panel dengan TEG (%)	Rata - Rata Radiasi Matahari (W/m ²)
1	9.744	12.23	9.644	12.11	693.37
2	8.907	12.03	8.815	11.91	644.42
3	9.461	12.17	9.369	12.06	676.53
4	9.164	11.96	9.046	11.80	667.11
rata - rata	9.319	12.10	9.219	11.97	670.36

4.2 Analisa Hasil Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan di atas, kemudian didapatkan daya rata – rata yang dihasilkan oleh panel surya dengan TEG, panel surya tanpa TEG dan TEG itu sendiri serta didapatkan radiasi matahari dan suhu yang terjadi pada panel surya dan TEG. Setelah itu dengan menggunakan persamaan (9) didapatkan nilai efisiensi rata – rata dari TEG. Selain itu dengan menggunakan persamaan (1) didapatkan rata – rata efisiensi dari panel surya tanpa TEG dan panel surya dengan TEG.

Pada generator termoelektrik, panas pada panel surya akibat dari radiasi matahari dapat dimanfaatkan oleh TEG dengan menghasilkan daya rata – rata sebesar 23.40 mW dengan efisiensi rata – rata 0.00876 %. Hal tersebut terjadi karena perbedaan suhu yang terjadi pada sisi panas dan sisi dingin TEG cukup kecil yaitu rata – rata 4.34 °C yang dikarenakan pada sisi dingin TEG menggunakan heatsink sebagai pembuang kalor dan aliran udara sebagai pendingin alami, sehingga pembuangan kalor oleh heatsink pada sisi dingin TEG tidak cukup baik. Pada sisi panas TEG suhu yang terjadi fluktuatif yang disebabkan oleh radiasi matahari sehingga suhu pada sisi panas TEG hanya bergantung pada panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari.

Besar efisiensi dari generator termoelektrik bergantung pada suhu sisi dingin TEG dan sisi panas TEG, dan besar perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas TEG, yaitu semakin besar perbedaan suhu yang dihasilkan maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan.

Pada pengujian yang telah dilakukan, daya rata - rata yang dihasilkan oleh panel surya dengan TEG dan panel surya tanpa TEG tidak berbeda jauh yaitu sebesar 0.1 W. Pada pengujian yang dilakukan, daya rata – rata keluaran panel surya tanpa TEG lebih besar walaupun tidak signifikan yaitu sebesar 9.319 W dengan efisiensi rata – rata 12.10 % sedangkan panel surya dengan TEG menghasilkan daya rata – rata sebesar 9.219 W dan besar efisiensi rata – rata 11.97 %. Daya dan efisiensi rata – rata panel surya tanpa TEG yang dihasilkan lebih besar, hal tersebut dikarenakan suhu pada panel surya dengan TEG lebih besar yang disebabkan oleh panas pada panel surya akibat dari radiasi matahari tertahan pada sisi panas TEG sehingga TEG menjadi *heat collector* sementara yang menyebabkan suhu yang lebih tinggi pada panel surya dengan TEG sehingga efisiensi panel surya dengan TEG turun, tetapi dari hasil pengujian yang dilakukan perbedaan daya dan efisiensi yang dihasilkan tidak begitu besar dikarenakan perbedaan suhu antara panel surya tanpa TEG dan panel surya dengan TEG cukup kecil.

Pada persamaan (9) efisiensi dari generator termoelektrik bergantung pada suhu sisi dingin TEG dan sisi panas TEG, dan besar perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas TEG, yaitu semakin besar perbedaan suhu yang dihasilkan maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan. Tabel 5. Perbandingan tegangan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan pada TEG.

Tabel 5. Perbandingan tegangan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan pada TEG

Hari ke -	Rata – rata Tegangan Pengukuran (V)	Rata – rata Tegangan Perhitungan (V)	Selisih (V)
1	0.102	0.202	0.100
2	0.094	0.194	0.100
3	0.100	0.187	0.087
4	0.094	0.259	0.166

Pada tabel 5 adalah perbandingan tegangan yang dihasilkan dari pengukuran dan perhitungan, di mana tegangan ukur adalah tegangan yang dihasilkan oleh TEG dan diukur menggunakan multimeter. Sedangkan tegangan hitung dihasilkan dengan menggunakan persamaan (5) dan menggunakan tabel 3.1 dengan perbedaan temperatur sebesar 20 °C nilai koefisien seebeck didapatkan sebesar 0.0485. Nilai koefisien seebeck ini digunakan untuk mendapatkan tegangan hitung dengan menggunakan persamaan (5) maka didapatkan persamaan:

$$V = \alpha \cdot \Delta T$$

Di mana:

V = Tegangan (V)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

ΔT = Perbedaan Suhu (K)

Pada tabel 5 nilai tegangan ukur jauh lebih kecil dikarenakan panas yang terjadi pada TEG fluktuatif dan pada sisi dingin TEG hanya menggunakan heatsink dan aliran udara sehingga perbedaan suhu yang terjadi antara sisi panas dan sisi dingin TEG cukup kecil yaitu rata – rata sebesar 4.34 °C.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan dapat membuktikan bahwa panas pada panel surya akibat dari radiasi matahari dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan menggunakan TEG. TEG dapat menghasilkan daya rata – rata sebesar 23.40 mW dengan efisiensi rata – rata 0.00876%. Daya rata – rata keluaran panel surya tanpa TEG lebih besar dibandingkan panel surya dengan TEG, yaitu sebesar 9.319 W dengan efisiensi rata – rata 12.10 %, sedangkan panel surya dengan TEG menghasilkan daya rata – rata sebesar 9.219 W dan besar efisiensi rata – rata 11.97 %. Daya dan efisiensi rata – rata panel surya tanpa TEG yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan panel surya dengan TEG, hal tersebut dikarenakan adanya TEG pada panel surya yang mengakibatkan kalor tertahan pada TEG, sehingga suhu pada panel surya dengan TEG lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya tanpa TEG. Dengan demikian daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan TEG menurun dan efisiensinya pun menurun.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran untuk melanjutkan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Menggunakan sistem pengukuran arus, tegangan, suhu dan radiasi matahari secara otomatis sehingga pengambilan data dapat dilakukan dengan mudah dan secara *realtime*.
2. Pada bagian sisi dingin TEG sebaiknya digunakan heatsink atau pendingin tambahan yang dapat menyerap panas lebih baik lagi sehingga daya keluaran dari TEG dapat lebih baik lagi.

Daftar Pustaka:

- [1] M. B. Fadillah and D. Y. Sukma, "Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah Pln Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan," vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2015.
- [2] D. Yang and H. Yin, "Energy conversion efficiency of a novel hybrid solar system for photovoltaic, thermoelectric, and heat utilization," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 2, pp. 662–670, 2011.
- [3] M. R. Ariffin and S. Shafie, "Conceptual Design of Hybrid Photovoltaic- Thermoelectric Generator (PV / TEG) for Automated Greenhouse System," *IEEE 15th Student Conf. Res. Dev.*, pp. 309–313, 2017.
- [4] R. Imawan, M. R. Kirom, and T. A. Ajiwiguna, "ANALISIS PERFORMANSI SISTEM TANDEM PANEL SURYA – TERMOELEKTRIK SKALA LAB ANALYSIS PERFORMANCE OF LAB SCALE SOLAR PANEL – THERMOELECTRIC TANDEM SYSTEM," 1848.
- [5] E. P. B, Z. Arifin, and T. J. S, "Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Pada Pengelasan Logam Tak Sejenis Antara Baja Tahan Karat Aisi 304 Dan Baja Karbon Rendah SS 400 Dengan Metode Beda Hingga," vol. 9, no. September, pp. 262–267, 2010.
- [6] H. B. Harja and N. Saksono, "Experimental Study on Vortex Tubeas Coolingof Machine Panel," vol. 5, no. 21, pp. 1–5, 2014.
- [7] R. F. Naryanto, "Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi Dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji," vol. 3, no. 2, pp. 86–93, 2014.
- [8] M. R. Fachri, I. D. Sara, and Y. Away, "Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 4, p. 123, 2015.

- [9] A. Warsito, E. Adriono, M. Y. Nugroho, and B. Winardi, "Dipo PV Cooler , Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peniingkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan."
- [10] A. P. Pratama, *Studi Eksperimental Termoelektrik Tipe sp 1848 27145 SA dan tec1-12706 dengan Variasi Seri dan Paralel pada Supra X 125 cc*, vol. 72, no. 10. 2005.
- [11] S. Memon and K. N. Tahir, "Experimental and Analytical Simulation Analyses on Generator Modules for Direct and Concentrated," no. November, 2018.
- [12] N. Karami and N. Moubayed, "New Modeling Approach and Validation of a Thermoelectric Generator," no. January 2017, 2014.
- [13] S. Lineykin and S. Ben-yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," vol. 43, no. 2, pp. 505–512, 2007.

